

OCENA ROZSZERZALNOŚCI CIEPLNEJ MAS DLA TECHNOLOGII WYTAPIANEGO MODELU

EVALUATION OF THERMAL EXPANSION OF CERAMIC SHELLS IN INVESTMENT CASTING

M. NADOLSKI¹, Z. KONOPKA², M. ŁĄGIEWKA¹, A. ZYSKA¹

ABSTRACT: Znajomość wielkości rozszerzalności cieplnej formy w odlewnictwie precyzyjnym wg technologii wytapianych modeli jest jedną z podstawowych danych umożliwiających prawidłowe przygotowanie dokumentacji technologicznej. W pracy przedstawiono wyniki badań dylatometrycznych form o osnowie kwarcowej prowadzone w zakresie temperatur 293 – 1293 K. Badaniami objęto wpływ obróbki cieplnej osnowy ziarnistej na zmiany wymiarowe materiału formy cienkościennej w technologii wytapianego modelu. Wykazano korzystny wpływ wstępnego wyżarzania materiału osnowy masy formierskiej.

ABSTRACT: The magnitude of thermal expansion of a mould in precise casting realised via investment casting is one of the basic data enabling correct preparing of technological documentation. The work presents the results of dilatometric examination of silica sand moulds performed within the temperature range 293 – 1293 K. The examinations have comprised the influence of thermal treatment of sand grains on dimensional changes of shell mould material in investment casting technology. A beneficial influence of primary annealing of sand grain material.

KEY WORDS: investment casting, ceramic shell, linear expansion;

SŁOWA KLUCZOWE: technologia wytapianych modeli, forma ceramiczna, rozszerzalność liniowa

1 WSTĘP

Odlewnictwo precyzyjne pozwala na wierne odtworzenie wymiarów modeli będących w wielko i małoseryjnej produkcji, będąc znacznie tańszą technologią dla metod użytkowych z uwagi na minimalne straty materiałowe. Wytwarzanie form ceramicznych w odlewnictwie precyzyjnym jest zasadniczą częścią procesu odlewania i może być streszczone w następujący sposób. Model niskotopliwy zanurzany jest w gęstwie przymodelowej, posypywany gruboziarnistym ogniodopornym materiałem ceramicznym i pozostawiony do wysuszenia. Podczas suszenia spoiwo koaguluje do postaci usieciowanego żelu wiążącego materiał ceramiczny. Operacje zanurzania, posypywania oraz suszenia powtarza się cyklicznie, aż do uzyskania wymaganej grubości powłoki.

¹ dr inż. Maciej Nadolski, dr inż. Małgorzata Łągiewka, dr inż. Andrzej Zyska – Katedra Odlewnictwa, Politechnika Częstochowska, Częstochowa

² dr hab. inż. Zbigniew Konopka Prof PCz – Katedra Odlewnictwa, Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Poszczególne warstwy mogą być wykonywane z różnych materiałów ceramicznych zarówno jeśli chodzi o kształt jak i wielkość. Przy czym warstwy pierwsze są wykonane z materiału drobnoziarnistego, a na warstwy następne stosuje się materiał o większych rozmiarach. Różnice są również w zastosowaniu spoiw w ich rodzaju i charakterystyce reologicznej oraz w stosowanych wypełniaczach ceramicznych. Czynnikiem wspólnym dla wszystkich wariantów jest stosowanie na pierwsze warstwy (przymodelowe) materiałów o najwyższej jakości, a to dlatego, że warstwy te będą w bezpośrednim kontakcie z ciekłym stopem i powinny zapewnić doskonałe odwzorowanie powierzchni zestawów modelowych jak i stabilność chemiczną na granicy metal-forma.

Z uwagi na różnorodność zastosowanych materiałów do budowy formy w metodzie wytapianych modeli otrzymywana jest finalnie pełnowartościowa samonośna forma o grubości ścianki od około 3 do około 12 mm [1,2,3]. Tak duże zróżnicowanie grubości ścianki formy wynika nie tylko z różnorodności zastosowanych materiałów [4] ale również z ilości naniesionych powłok na zestawy modelowe, najczęściej stosowane jest od 5 do 7 warstw [5,6]. Zróżnicowane pod względem budowy oraz sposobu wykonania formy ceramiczne muszą sprostać wielorakim wymaganiom takim jak: dostateczna wytrzymałość niewypalonych form (podczas procesu usuwania zestawów modeli niskotopliwych), dostateczna wytrzymałość na gorąco (w trakcie zalewania stopem), odporność na szok termiczny, wysoka stabilność chemiczna (reakcja metal-forma), dostateczna przepuszczalność i stabilność wymiarowa [1,3]. Natomiast materiał na osnowę tych mas powinien charakteryzować się odpornością na działanie wysokiej temperatury i tlenków metali w tej temperaturze, małą rozszerzalnością cieplną, brakiem przemian polimorficznych i odpowiednim składem ziarnowym. Takie wymagania powodują, że najlepsze materiały (kwarc topiony, cyrkon, molochite) są materiałami najdroższymi, a odpowiedzialną za jakość powierzchni odlewu warstwę kontaktową wykonuje się w oparciu o te materiały. Pozostałe warstwy, konstrukcyjne, wykonywane są z mniej odpowiedzialnych materiałów, przy czym najbardziej dostępnym w warunkach krajowych jest piasek kwarcowy podlegający przemianom polimorficznym. Przemiany powodują wzrost objętości ziarna, wpływając na obniżenie wytrzymałości powłok, w tym MOR1 [4]. Rozszerzalność liniowa kwarcu do temperatury 846 K wynosi około 1,4 % i jest spowodowana przemianą β -kwarcu w α -kwarc [4]. Z uwagi na złożoność budowy cienkościennej formy ceramicznej dla odlewnictwa metodą wytapianych modeli rozszerzalność liniowa formy jest wypadkową rozszerzalności surowców do jej wykonania jak i wad budowy wewnętrznej [7,8,9]. W celu zapewnienia dostatecznych własności formy ocenie na etapie jej wykonywania podlega gęstość ceramiczna: pH, lepkość oraz gęstość, oraz warunki wykonania powłok: wilgotność, temperatura, czas i ruch powietrza [1,7,8,9].

Typowa forma wykonana w oparciu o krzemionkę koloidalną, do uzyskania odpowiedniego stopnia zestalenia, wymaga suszenia na powietrzu lub pod obniżonym ciśnieniem przez okres 5-ciu do 10-ciu godzin, zależnie od konfiguracji odlewanej części. Ruch powietrza, jego wilgotność oraz temperatura są podstawowymi parametrami suszenia. Czas suszenia między kolejnymi warstwami może wynosić powyżej 24 godzin, jeśli model posiada zagłębienia, wnęki lub inne trudne do wysuszenia zestawienie [6].

2 METODYKA BADAŃ, WYNIKI

Przeprowadzono badania rozszerzalności cieplnej form wykonanych z masy o osnowie ziarnistej według konwencjonalnej technologii zanurzeniowo-obsypkowej. Wykorzystano do tego celu przemysłowy proces produkcyjny stosowany z dobrymi rezultatami w jednej z odlewni produkującej odlewy precyzyjne metodą wytapianych modeli. Odlewnia ta stosuje specyficzne zróżnicowanie spoiw i materiałów obsypkowych bazując na piasku kwarcowym. Wykaz zastosowanego spoiwa oraz odpowiadające uziarnienie dla poszczególnych warstw przedstawiono w Tab. 1. Do wykonania próbek zastosowano gęstwy składające się ze spoiw Ludox SK, Ludox HS i krzemianu etylu 40 oraz mączki kwarcowej, której zawartość dobrano tak, aby czas wypływu gęstwy z kubka Forda nr 4

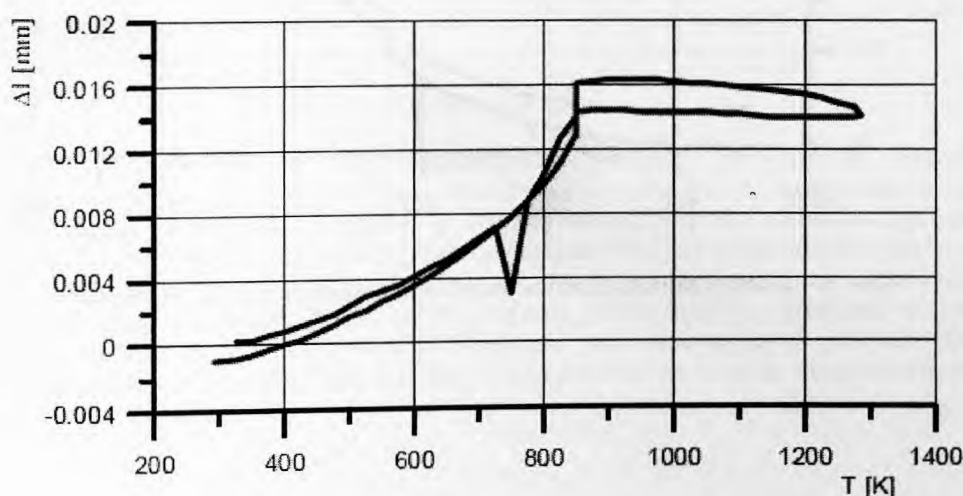
wynosił 30 - 35 s dla pierwszej warstwy. Modele zanurzano w przygotowanej gęstwie na okres 20 s, a po odsączeniu jej nadmiaru obsypywano materiałem ziarnistym. Gęstwa na drugą warstwę składała się z krzemianu etylu 40 oraz mączki kwarcowej, ilość mączki dla tej i następnych warstw dobierano

tak, że czas wypływu z kubka Forda nr 4 wynosił $20 \div 25$ s. Zmianie podlegał rodzaj osypki i spoiwa w zależności od nanoszonej warstwy. Suszenie warstw przeprowadzano w temperaturze około 295 K, czas przesuszeń międzyoperacyjnych wynosił 6 godzin. Do nawarstwiania powłok użyto modeli stearynowo – parafinowych. Próbkę materiału formy, wstępnie poddanej obróbce cieplnej w celu oddzielenia od zestawów modelowych w temperaturze 473 K w czasie około 2 godzin, dostosowano wymiarami do wnętrza rury kwarcowej dylatometru, l_0 około 20 mm. Badania dylatometryczne przeprowadzono w zakresie temperatur od 293 do 1293 K na bezwzględnym dylatometrze optycznym LS-4. Przebieg badań był oparty na normie PN-68/H-04500 „Badania dylatometryczne metali i stopów”. W trakcie badań porównano dwa materiały na osnowę ziarnistą, wyżarzony i niewyżarzony piasek kwarcowy. Wyżarzanie przeprowadzono w temperaturze około 1400 K w czasie 2 godzin. Pozostałe warunki wykonania tj. pH gęstwy, temperatura i wilgotność otoczenia, czas suszenia poszczególnych warstw jak i ruch powietrza nad próbkami w czasie suszenia były jednakowe.

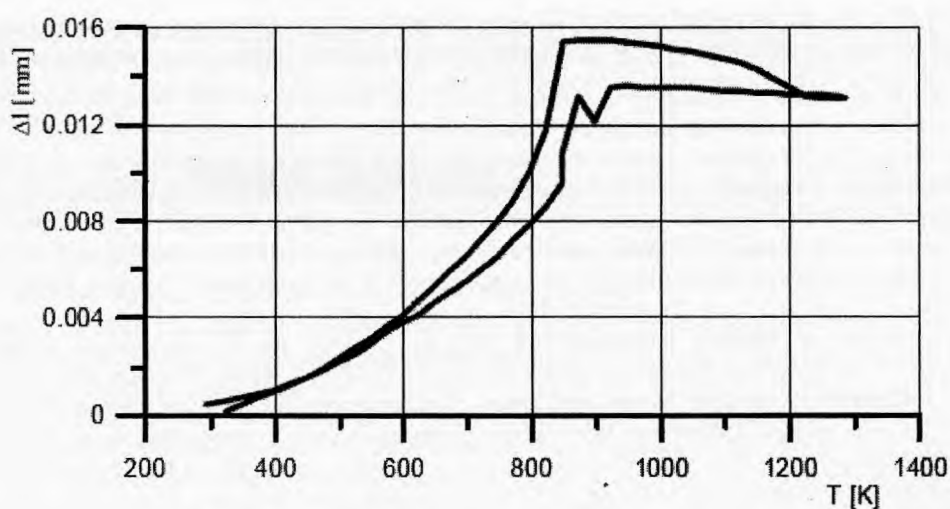
Tab. 1 – Wykaz stosowanego spoiwa i uziarnienia materiału obsypki dla warstw.

Numer warstwy	Spoiwo	Uziarnienie
1	Ludox SK	0,071/0,10/0,16
2	Krzemian etylu 40	0,16/0,20/0,315
3	Ludox HS	0,16/0,20/0,315
4	Krzemian etylu 40	0,4-1,2
5	Ludox HS	0,4-1,2
6	Krzemian etylu 40	0,6-2,0
7	Krzemian etylu 40	0,6-2,0

Na rysunkach 1 i 2 pokazano charakterystyczne zmiany wymiarów liniowych masy formierskiej odpowiednio z osnową nieżarzoną (**Rys 1**) i żarzoną (**Rys 2**) w czasie nagrzewania i chłodzenia.

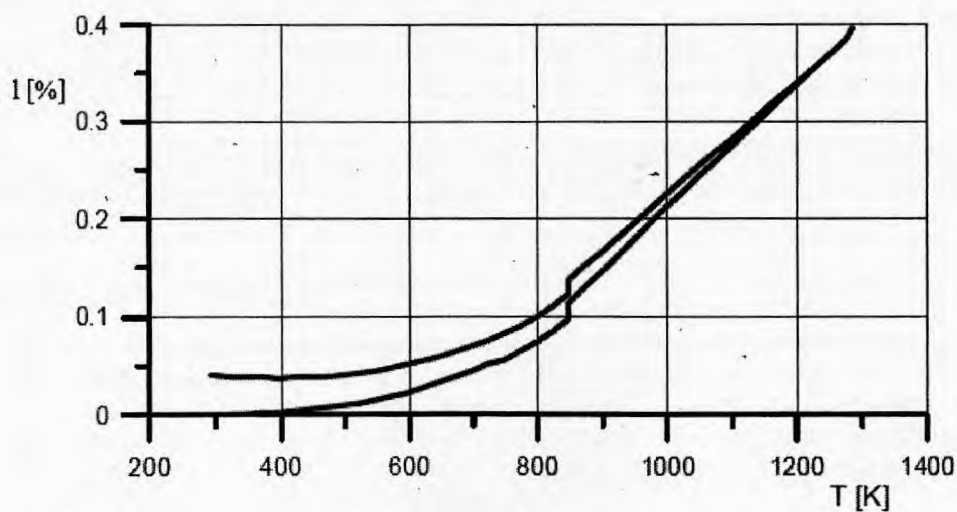


Rys. 1 – Dylatogram masa surowiec nieżarzony

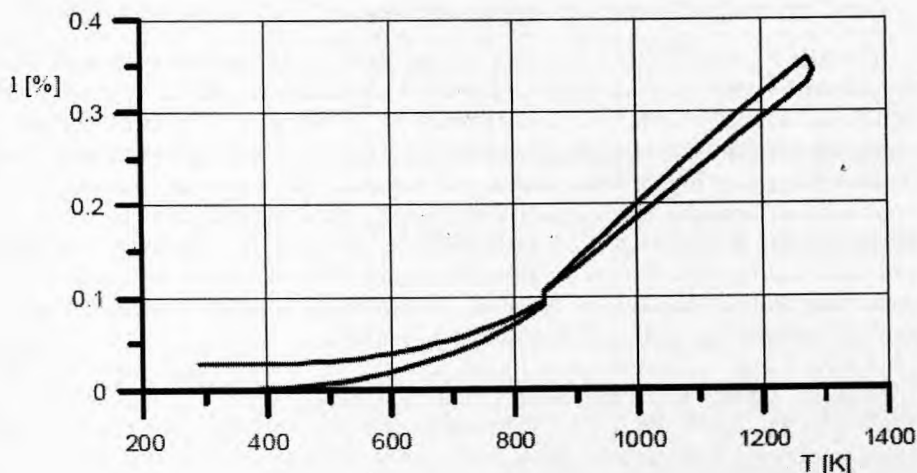


Rys. 2 – Dylatogram masa surowiec żarzony

Zaobserwowaną rozszerzalność liniową dla masy o osnowie z nierzażonego (**Rys 3**) i żarzonego (**Rys 4**) materiału przedstawiono poniżej.



Rys. 3 – Rozszerzalność liniowa masy formierskiej surowiec nieżarzony



Rys. 4 – Rozszerzalność liniowa masy formierskiej surowiec żarzony

Przemiany polimorficzne SiO_2 powodują wzrost objętości ziarn osnowy. Największe zmiany wymiarowe zaobserwowano w zakresie temperatury 293 K do około 846 K, przy czym zmiany te zachodziły łagodnie do temperatury przemiany β -kwarcu w λ -kwarc. Nieżarzony materiał formierski w punkcie przemiany polimorficznej gwałtownie zwiększył charakterystyczny wymiar o około 0,004 mm co skutkuje zwiększeniem napreżeń wewnętrznych w cienkościennej formie. Przebieg krzywej dylatometrycznej dla formy z żarzonej wstępnie osnowy w zakresie temperatur około 320 – 846 K ma łagodny charakter, wykazując gwałtowny wzrost wymiaru w temperaturze około 846 K. Wzrost ten jest spowodowany zachodzeniem przemiany polimorficznej, której nie wyeliminowało całkowicie wstępne wyżarzanie materiału na osnowę. Powyżej temperatury przemiany polimorficznej obydwa materiały charakteryzują się stopniowym zmniejszeniem wymiaru wskazując końcową całkowitą zmianę, dla temperatur nagrzewania, o około 0,014 mm. Na Rys 3 i 4 obrazujących rozszerzalność liniową badanych materiałów wyraźnie obserwowany jest efekt występowania przemiany polimorficznej w temperaturze około 846 K. Całkowita rozszerzalność wymiarowa masy formierskiej z żarzoną osnową jest o około 0,05 % mniejsza od porównywanej masy.

3 PODSUMOWANIE

Kwarcowy materiał osnowy masy formierskiej poddany uprzedniemu wyżarzaniu charakteryzuje przemiana polimorficzna β -kwarcu w λ -kwarc w temperaturze około 846 K. W wyniku tej przemiany następuje gwałtowny wzrost objętości ziarn osnowy, którego zarejestrowana wielkość dla wstępnie wyżarzanego materiału jest zdecydowanie mniejsza w porównaniu do materiału wstępnie nieobrabianego cieplnie, a końcowa rozszerzalność liniowa formy w zakresie temperatur 293 - 1293 K wynosi około 0,35 %. Wielkość ta jest na porównywalnym poziomie z otrzymanymi wynikami prezentowanymi w pracach Guerri, Niles'a i Matzek'a (około 0,4 %) dla zalecanych do odlewnictwa metodą wytapianych modeli wysokoognotrwałych materiałów.

4 LITERATURA

- [1] PIŁKOWSKI Z., NADOLSKI M.: Niektóre problemy wytrzymałości cienkościennych form odlewniczych, Archiwum Odlewnictwa, PAN Katowice, 2004,r.4, nr14, s.413-419;
- [2] NADOLSKI M., KONOPKA Z., ŁAGIEWKA M., ZYSKA A.: The influence of aluminosilicate fibres in moulding material for investment casting technology. Archives of Foundry Engineering, Polish Academy of Science, The Katowice Branch Commission of Foundry Engineering, 2008 vol. 8, wyd.1, pp.223-226;
- [3] NADOLSKI M., KONOPKA Z., ŁAGIEWKA M., ZYSKA A.: Mechanical properties of investment casting moulds reinforced with ceramic fibre. Archives of Foundry Engineering, Polish Academy of Science, The Katowice Branch Commission of Foundry Engineering, 2008 vol. 8, wyd.4, pp.149-153;
- [4] LEWANDOWSKI L.: Tworzywa na formy odlewnicze, Wyd. Akapit Kraków, 1997;
- [5] SHAW R. D., Duffey D. J.: Investment Casting, USPat. 6769475, Aug 3, 2004;
- [6] NADOLSKI M., KONOPKA Z.: The investigation of properties of investment casting moulds reinforced with ceramic fibre, Archives of Foundry Engineering, Polish Academy of Science, The Katowice Branch Commission of Foundry Engineering, 2007 vol. 4, pp.127-130; Sielpia 2007;
- [7] MATZEK C. H.: The Effect of Slurry Viscosity and Stucco Size on Shell Properties. REMET Corporation, Utica, New York;
- [8] GUERRA M. Jr.: Comparison of Properties Zircon/Alumino – Silicate Shells with Water – Based and Ethyl Silicate – Based Binders. REMET Corporation, Utica, New York;
- [9] NILES J. C.: The Effect of Particle Size of Fused Silica Flour on Shell Properties. Investment Casting Institute, 45th Annual Technical Meeting 1997.